

بررسی تأثیر ساختار بت فولادی بر رفتار مقاومت غلتشی تایر رادیال باری با استفاده از روش اجزای محدود

مرتضی رشیدی مقدم

دکتری مهندسی مکانیک، اداره نوآوری و ارتباط با مراکز دانش بنیان گروه صنعتی بارز

morteza2046@gmail.com

چکیده: مقاومت غلتشی به دلیل تأثیر قابل توجه آن بر روی مصرف سوخت خودرو در هسته اصلی اهداف توسعه تایر قرار دارد. در روش‌های تحلیلی، معایب روش‌های المان محدود مانند طولانی شدن مدت زمان حل مسئله و ناهمگرایی حل وجود ندارد و در این روش می‌توان درک مناسبی از تأثیر پارامترهای مختلف بر روی مقاومت غلتشی به دست آورد. در این مقاله با استفاده از شبیه‌سازی المان محدود، اثرات زاویه، قطر سیم و عرض بت‌های مختلف از جنس فولاد در تایر رادیال باری به عنوان یکی از متغیرهای طراحی مؤثر بر انرژی اتلافی تایر بررسی شده است. یک مدل سه‌بعدی واقعی از تایر رادیال باری با مشخصات 315/80 R22.5 به منظور شبیه‌سازی مقاومت غلتشی در نرم‌افزار ABAQUS استفاده شده است. به منظور شبیه‌سازی بت‌ها و زاویه آن‌ها از مدل Rebar استفاده شده است. تأثیر زاویه بت‌های تایر رادیال باری بر روی مقدار مقاومت غلتشی با استفاده از این مدل‌سازی غیرخطی در نرم‌افزار ABAQUS به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها و تاکوچی ساختار بهینه بت‌ها به منظور دستیابی به کمترین مقاومت غلتشی به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت غلتشی، المان محدود، ساختار بت فولادی، تایر رادیال باری، آباکوس

مقدمه

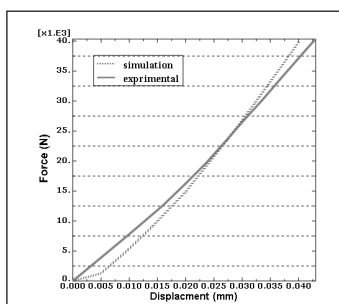
تایر یک ساختار بسیار پیچیده است و برای طراحی آن نیاز به دانش کافی در این زمینه است. یکی از مواردی که در طراحی تایر باید در نظر گرفته شود، اتلاف انرژی در اثر حرکت دورانی تایر است. صرف نظر از نیرو دراک آیرودینامیک و اصطکاک بین تایر و سطح جاده، مقاومت غلتشی ناشی از خاصیت ویسکوالاستیک لاستیک عامل بسیار مهم و تأثیرگذار در اتلاف سوخت و انرژی حاصل از آن است [۱]. اجزای لاستیک به علت داشتن خاصیت پسماند در اثر تغییر شکل به علت آنکه تغییرات تنش و کرنش هم فاز نیستند، اتلاف انرژی در داخل تایر رخ خواهد داد و این اتلاف انرژی در واقع به صورت یک نیروی مقاوم در برابر چرخش تایر است. این نیروی ساختگی معمولاً به عنوان مقاومت غلتشی شناخته می‌شود، بنابراین کاهش این نیروی مقاوم در برابر حرکت یکی از بزرگ‌ترین مسائل روز صنعت لاستیک است [۲].

رابطه بین مقاومت غلتشی و ویژگی‌های هیسترسیس دینامیکی و ویسکوالاستیک مواد رابر در تایر بسیار پیچیده است. تعیین مقدار کمی نیروی مقاومت غلتشی به علت وجود متغیرهای مختلفی همچون فشار، نیرو، سرعت، تغییر شکل و متغیرهای طراحی تایر و همچنین ویژگی‌های هیسترسیس تنش-کرنش مختلف در مواد متفاوت و تأثیر مواد مختلف بر روی یکدیگر بسیار مشکل است [۳ تا ۷]. در این مقاله با استفاده از مدل‌سازی غیرخطی در نرم‌افزار آباکوس به صورت عددی، تأثیر ساختار بت در تایر رادیال سواری بر روی مقدار مقاومت غلتشی مورد مطالعه قرار گرفته است و با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها و تاکوچی ساختار بهینه بت‌های از جنس فولاد به منظور دستیابی به کمترین مقاومت غلتشی در تایر

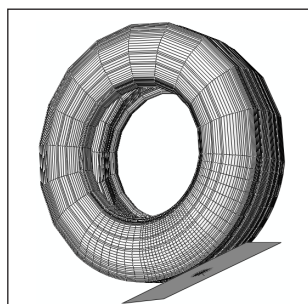
رادیال باری 315/80 R22.5 مورد بررسی قرار گرفته است.

شبیه‌سازی اجزای محدود

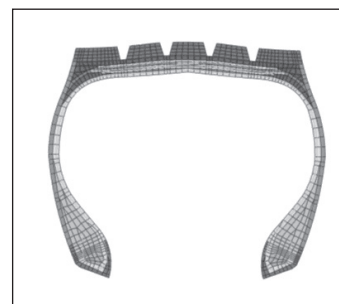
مبنای نتایج دریافت شده در این مطالعه، شبیه‌سازی اجزای محدود است. از این‌رو، به منظور تأیید نتایج، باید از دقت نمونه‌های شبیه‌سازی شده اطمینان به دست آورد. در این مقاله از تایر 315/80 R 22.5 به عنوان نمونه مطالعاتی استفاده شده است. در مدل دو بعدی و متقارن محوری تایر از المان‌های CGAX3 و CGAX4 برای مدل‌سازی اجزای لاستیکی تایر و از المان‌های SFMGAX1 برای مدل‌سازی لایه‌های تقویت‌شده مانند بت و کارکاس تایر استفاده شده است. برای ضمیمه کردن لایه‌های تقویت‌شده به ماتریس لاستیکی از قید embedded استفاده می‌شود. اجزای لاستیکی به صورت ویسکوپایرلاستیک مدل‌سازی می‌شود. برای شبیه‌سازی رفتار هایپرلاستیک از مدل تابع انرژی کرنش چندجمله‌ای مرتبه سوم استفاده می‌شود رفتار ویسکوز لاستیک به صورت همگن و با استفاده از سری پرونی مدل‌سازی می‌شود. مدل سه‌بعدی تایر با استفاده از دستور symmetric model generation و مطابق با مدل متقارن محوری تایر ایجاد می‌شود. سطح جاده به صورت صفحه صلب شبیه‌سازی شده است. برای شبیه‌سازی تماس بین تایر و جاده از الگوریتم تماس سطح-به-سطح استفاده می‌شود. در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب شماتیکی از مدل دو بعدی و سه‌بعدی تایر شبیه‌سازی شده، نشان داده شده است. در شکل ۳، نمودار تغییر شکل تایر در مقابل نیروی عمودی، براساس نتایج تجربی و شبیه‌سازی شده نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاصل، دقت نمونه شبیه‌سازی را تأیید می‌کند؛ بنابراین از این مدل برای مطالعه مقاومت غلتشی تایر استفاده می‌شود.



شکل ۳- تغییر شکل تایر در مقابل نیروی عمودی



شکل ۲- مدل سه‌بعدی تایر



شکل ۱- مدل دو بعدی مقطع تایر

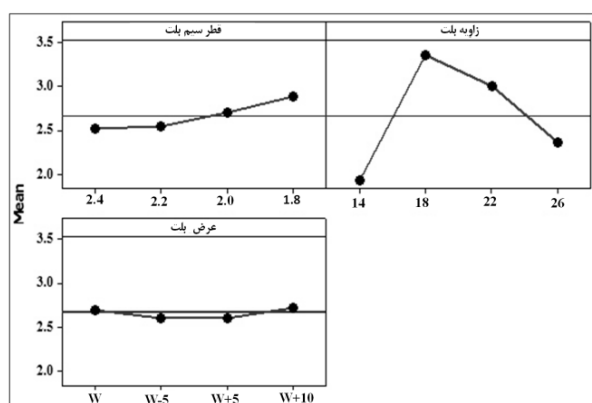
جدول ۲- جدول طرح آزمایش‌ها و مقدار متغیر پاسخ

شماره آزمایش	نیروی مقاومت غلتشی نسبی	شماره آزمایش	نیروی مقاومت غلتشی نسبی
۱	۲,۱۲	۵	۳,۳۵
۲	۲,۵۳	۶	۲,۲۸
۳	۳,۱۷	۷	۳,۳۸
۴	۲,۹۸	۸	۲,۴۲

بحث و نتیجه‌گیری

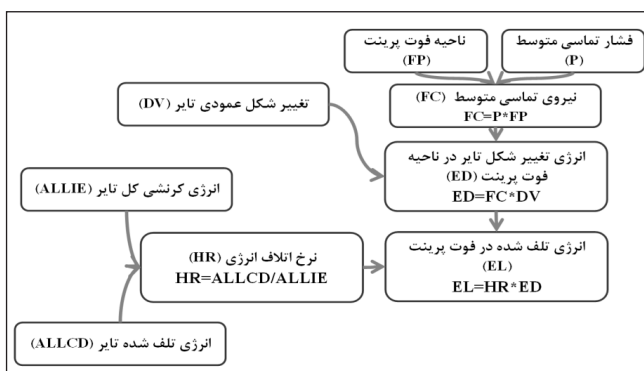
در شکل ۵ تأثیر زاویه بت، عرض بت و قطر سیم بت فولادی دو و سه بر نیروی مقاومت غلتشی نسبی تایر به‌عنوان شاخصی از مقاومت غلتشی تایر نشان داده شده است. با توجه به تحلیل نتایج، زاویه بت و قطر سیم در مقایسه با عامل دیگر تأثیر قابل‌توجهی بر مقاومت غلتشی تایر رادیال سواری دارند. ساختار سیم بت با قطر کلی ۱/۸ میلی‌متر با ثابت نگه‌داشتن فاکتور ایمنی منجر به کاهش تعداد سیم‌ها در بت تایر می‌شود که در مقایسه با ساختار سیم با قطرهای بالاتر مجموعاً منجر به افزایش سفتی و کاهش حرکت آج تایر در حین غلتش در ناحیه تماس تایر و جاده و در نتیجه کاهش نیروی مقاومت غلتشی می‌شود. همچنین استفاده از سیم بت با قطر کمتر با رعایت موارد ایمنی منجر به کاهش وزن تایر و در نتیجه کاهش مقاومت غلتشی خواهد شد. درحالی‌که عرض بت تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر روی مقاومت غلتشی تایر ندارد.

تأثیر زاویه بت‌های ۲-۳ بر مقاومت غلتشی تایر به‌صورت یک سهمی است به‌طوری‌که بیشترین مقدار مقاومت غلتشی تایر مربوط به زاویه ۱۸ درجه برای بت‌های ۲-۳ است. همچنین برای زاویه‌های کمتر از ۱۸ درجه مقدار مقاومت غلتشی با کاهش زاویه کمتر و برای زاویه‌های بیشتر از ۱۸ درجه مقاومت غلتش با افزایش زاویه بت‌های ۲-۳ کاهش می‌یابد. درواقع بت‌های ۲-۳ وظیفه تحمل بار را در تایرهای رادیال باری بر عهده دارند. یکی از مکانیسم‌های مقاومت غلتشی تایر ارتعاشات ناشی از بت پکیج تایر است. نتایج نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از تأثیر بت پکیج بر مقاومت غلتشی تایر ناشی از بت‌های ۲-۳ است. تأثیر سهمی شکل زاویه بت‌های ۲-۳ می‌تواند ناشی از ارتعاشات بت پکیج تایر باشد. به‌طوری‌که برای زاویه بت‌های ۲-۳ کمتر و بیشتر از ۱۸ درجه دامنه این ارتعاشات کمتر است؛ بنابراین انرژی تلف‌شده ناشی از حرکت بت‌ها کاهش می‌یابد [۸].



شکل ۵- اثر زاویه، عرض و قطر سیم بت ۲ و ۳ بر نیروی مقاومت غلتشی نسبی

در شکل ۴ نحوه محاسبه مقدار ضریب مقاومت غلتشی با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS نشان داده شده است. نرخ اتلاف انرژی (HR) در حالت غلتش آزاد درواقع شیب نمودار انرژی تلف‌شده تایر (ALLCD) برحسب انرژی کرنشی کل تایر (ALLIE) است که این انرژی‌ها از خروجی المان محدود استخراج می‌شود. این نسبت ALLCD/ALLIE درواقع کل انرژی اتلاف شده در تمام تایر را پوشش می‌دهد. تحت بارگذاری عمودی، انرژی موردنیاز برای تغییر شکل تایر به‌صورت عمودی (ED) در ناحیه فوت پرنیت از ضرب نیروی تماسی عمودی متوسط (FC) ایجادشده در فوت پرنیت تایر در تغییر شکل عمودی تایر (DV) که وابسته به قطر خارجی تایر است، حاصل می‌شود [۸]. به علت آن‌که در ناحیه فوت پرنیت ۹۰ تا ۹۵ درصد تغییر شکل تایر در این محل اتفاق می‌افتد، انرژی اتلاف شده کل تایر (EL) از ضرب نرخ اتلاف انرژی (HR) در انرژی تغییر شکل در ناحیه فوت پرنیت (ED) حاصل می‌شود.



شکل ۴- روش تخمین مقاومت غلتشی

پیاده‌سازی طراحی آزمایش براساس روش تاگوچی:

در راستای طراحی و تعیین ترکیب آزمایش‌های موردنیاز، برای ۴ متغیر ورودی، سطوح متفاوت مطابق جدول ۱ تعیین می‌شود. برای ۴ فاکتور با سطوح تعیین‌شده، مدل تاگوچی از میان تعداد متنوعی از ترکیب‌های ممکن (۶۴ حالت) برای مقادیر پارامتری، با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب، ۸ حالت به‌صورت زیر به‌دست می‌آید. سپس این ۸ حالت با استفاده از تحلیل اجزای محدود به‌وسیله نرم‌افزار آباکوس شبیه‌سازی و مقادیر مربوط به نیروی طولی (نیروی بین جاده و تایر در راستای جهت حرکت) محاسبه می‌شود. در جدول ۲ مقدار متغیر پاسخ برای هر آزمایش نشان داده شده است.

جدول ۱- حدود پارامترهای مسیر بارگذاری

سطح	قطر سیم بت (mm)	عرض بت ۲ و ۳	زاویه بت ۲ و ۳ (°)
۱	۲,۴	W	۱۴
۲	۲,۲	W+۵	۱۸
۳	۲	W-۵	۲۲
۴	۱,۸	W+۱۰	۲۶

مراجع

- [۱] فریبرز تاج‌دینی، مقاومت غلتشی و صرفه‌جویی در مصرف سوخت، نشریه علمی صنعت لاستیک ایران، دوره ۲۱، شماره ۸۴، زمستان ۹۵، صفحه ۴۴-۴۸
- [2] The tire rolling resistance and fuel savings, Société de Technologie Michelin 23, rue Breschet, 63000 Clermont-Ferrand, 2003.
- [3] Golbakhshi, H. and Namjoo, M., "An Efficient Numerical Scheme for Evaluating the Rolling Resistance of a Pneumatic Tire," International Journal of Automotive Engineering, 5(2):1009-1015, 2015.
- [4] S. Ghosh, R.A. Sengupta, and G. Heinrich, Investigations on Rolling Resistance of Nanocomposite Based Passenger Car Radial Tyre Tread Compounds Using Simulation Technique. Tire Sci. Technol. Vol 39 (3): 210-222, 2011.
- [5] Ghosh, S., "Investigation on Role of Fillers on Viscoelastic Properties of Tire Tread Compounds," Doctor of Philosophy, Maharaja Sayajirao University of Baroda, India, 2011.
- [6] Cho, J., Lee, H., Jeong, W., Jeong, K., and Kim, K., "Numerical Estimation of Rolling Resistance and Temperature Distribution of 3-D Periodic Patterned Tire," International Journal of Solids and Structures 50(1):86-96, 2013.
- [7] Weiss, M., Tsujimoto, S., Yoshinaga, H., 1993. "Belt Construction Optimization for Tire Weight Reduction using the Finite Element Method". Tire Science and Technology, 21, Nov, pp. 120-134.
- [8] Michelin, P., Te Tyre: Rolling Resistance and Fuel Savings (Clermont-Ferrand, France: Société de Technologie, 2003).